

# 지속적인 서비스 지원을 위한 셀룰러 기반 비지상망의 이동성 관리 기법 성능 분석

유지나\*, 백종수\*, 김재현<sup>o</sup>

## Performance Analysis of a Cellular-Based Non-Terrestrial Network Mobility Management Method to Support Continuous Service

Jina Yu\*, Jong Soo Baik\*, Jae-Hyun Kim<sup>o</sup>

### 요 약

본 논문에서는 지속적인 서비스 지원을 위해 셀룰러 기반의 비지상망 환경을 구현하고 단말의 위치 정보를 활용한 서비스 연결 기법의 성능을 분석한다. 위치 기반의 이동성 관리 기법은 셀 중심점부터 셀 가장자리까지의 거리를 지표로 두어 서빙 셀과 이웃 셀이 교차하는 지점을 핸드오버 measurement report triggering의 기준으로 사용한다. 또한, 신호 세기 기반의 이동성 관리 기법의 event와 위치 기반 연결성 관리 기법의 event의 성능을 세부적으로 분석하기 위해 이동성 관리 기법을 3가지의 state로 나누었다. 시뮬레이션 분석 결과, 비지상망에서의 이동성 관리 기법은 지상망과 비교했을 때 빠른 이동성으로 인해 핑퐁 발생률이 적지만 핸드오버 실패율, 초 당 발생하는 radio link failure에서 낮은 성능을 보인다. 위치 기반의 event는 fading에 의해 무작위성을 가지고 있는 신호 세기 기반의 event보다 더 높은 정확도를 가지고 있다. 신호세기의 변화량이 적은 비지상망 환경에서는 fading의 영향이 지상망보다 크게 작용하기 때문에 높은 정확도를 가진 위치 기반의 event가 더 높은 성능을 보인다.

**Key Words** : LEO satellite, Cellular, NTN, Handover, Satellite communication

### ABSTRACT

In this paper, we implement a cellular-based non-terrestrial network (NTN) to support continuous service and to analyze the performance of the service connection method using user equipment (UE) location information. The location-based mobility management method uses the distance from the cell center point to the cell edge as an index, and the intersection point of the serving cell and the neighboring cell is used as a criterion for handover measurement report triggering. In addition, mobility management method process is divided into 3 states in order to analyze the performance of the event of reference signal received power (RSRP)-based mobility management method and the event of location-based mobility management method in detail. According to simulation results, compared to the terrestrial network (TN), the mobility management method in the NTN has a low ping-pong rate due to its fast mobility.

\* 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다 (UD190033ED).

• First Author : Ajou University Department of Artificial Intelligence Convergence Network, jina1114@ajou.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : Ajou University Department of Electrical and Computer Engineering, jkim@ajou.ac.kr, 종신회원

\* Hanwha System, Korea, jongs100@hanwha.com, 정회원

논문번호 : 202207-142-A-RU, Received July 18, 2022; Revised July 20, 2022; Accepted July 20, 2022

However, it shows low performance in the handover failure rate and the number of radio link failure per second by one UE. Location based event has higher accuracy than RSRP-based event that has randomness by fading. In a NTN network with a small change in RSRP, the location-based event shows higher performance because the effect of fading are greater than that of the TN.

## 1. 서론

3rd generation partnership project (3GPP)는 release 15에서 비지상망에 5G new radio (NR) 기술을 적용하기 위한 채널 모델, 관련 파라미터 및 배치 시나리오를 정의하며, NR 환경에 적용 시 고려되어야 할 중요 사항들을 구별하고 평가하였다<sup>1,2</sup>.

기존의 비지상 네트워크는 정지궤도 위성을 중심으로 개발되었다. 정지궤도 위성은 상공 약 36,000 km 부근에 위치하기 때문에 전파 지연 시간이 크다. 그러나 최근 위성이 소형화되고 발사체 재사용을 통한 발사 비용 감소로 인해 저궤도 (Low Earth Orbit, LEO) 위성의 개발 및 운용이 크게 증가하고 있다<sup>3</sup>.

한편, 저궤도 위성은 높은 이동성을 가지고 있기 때문에 링크 안정성이 정지궤도위성에 비해 떨어지며, 인접 셀 간 간섭 및 서비스 연속성 등을 고려해야 한다. 특히 서비스 연속성을 위한 핸드오버는 저궤도 위성 기반 비지상망 환경에서 빈번하게 발생하며 지상 네트워크와는 매우 다른 환경을 가진다. 이러한 문제를 해결하기 위해 여러 연구에서 효율적인 핸드오버를 위한 방법을 제안하고 있다<sup>4-9</sup>. [4]에서는 저궤도 환경에 추가적으로 high altitude platform (HAP)과 지상파 중계 노드를 도입하여 핸드오버 발생률을 줄이는 다계층 네트워크 아키텍처를 제안하고 있다. [5]에서는 핸드오버 지연 시간을 줄이기 위해 multi-attribute dynamic graph (MADG) 방식을 사용하여 새로운 핸드오버 방안을 제안하고 있다. [6]에서는 저궤도 위성의 핸드오버 시간을 줄이기 위해 software-defined satellite network (SDSN) 아키텍처 기반으로 bipartite 그래프 프레임워크와 potential game 기반의 핸드오버 알고리즘을 제안하고 있다. [7]에서는 서비스 시간, 채널 사용량, 핸드오버 횟수를 고려하여 그래프 기반의 위성 핸드오버를 통해 이웃 위성을 선택하는 방법을 제안하고 있다. [8]에서는 저궤도 위성 기반 비지상망 환경에서 신호세기 변화량과 품질에 대해서 분석하고 있다. [9]에서는 단말의 위치 정보를 활용하여 핸드오버하는 방식을 논의 및 정의하고 있다. 하지

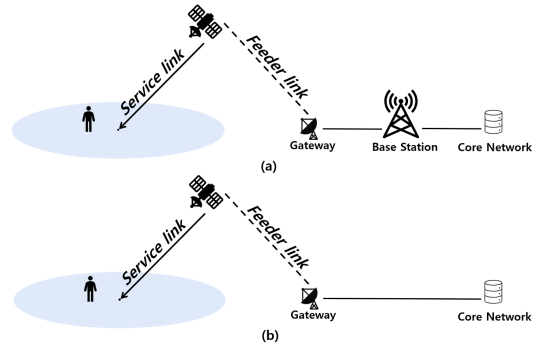


그림 1. (a) Transparent 시나리오 (b) Regenerative 시나리오  
Fig. 1. (a) Transparent scenario (b) Regenerative scenario

만 이전 연구에서 사용된 지상망에서의 신호세기 기반 핸드오버 파라미터들은 비지상망 환경을 반영하지 못하기 때문에 비지상망에 적합한 핸드오버 triggering 방식에 대한 연구가 필요하다. 또한 기존 연구들에서는 핸드오버 triggering 방식에 대한 연구가 부족하다. 따라서 본 논문에서는 저궤도 위성 통신 환경을 셀룰러 환경에서 구축하고 기존의 신호세기 기반 핸드오버 방식과 위치 기반 핸드오버 방식을 지상망에서의 핸드오버 성능과 비교 분석한다.

## II. 시스템 모델

### 2.1 위성 채널 모델

본 논문에서는 Technical Report (TR) 38.821의 system level simulation (SLS) 환경에서 사용되는 채널 모델을 사용한다. 교외 환경에서 SLS 환경의 경로 손실은 line-of-sight (LoS)의 확률을 고려하여 자유 공간 경로 손실, 음영 효과, 클러스터 손실을 가지고 계산된다. 경로 손실 모델의 수식은 다음과 같다.

$$PL = P_{LoS}(FSPL + SF) + P_{NLoS}(FSPL + SF + CL), \quad (1)$$

$P_{LoS}$ 와  $P_{NLoS}$ 는 표 1과 같이 고도각에 따른 LoS의 확률과 non-LoS (NLoS)의 확률이다.  $FSPL$ 은 자유 공간 경로 손실,  $SF$ 는 음영 효과로 로그 정규

표 1. 교외 파라미터  
Table 1. Parameters of suburban

Elevation angle	Probability of LoS	NLoS		
		$\sigma_{SF}$ (dB)	$\sigma_{SF}$ (dB)	CL (dB)
10°	78.2 %	1.79	8.93	19.52
20°	86.9 %	1.14	9.08	18.17
30°	91.9 %	1.14	8.78	18.42
40°	92.9 %	0.92	10.25	18.28
50°	93.5 %	1.42	10.56	18.63
60°	94.0 %	1.56	10.74	17.68
70°	94.9 %	0.85	10.17	16.50
80°	95.2 %	0.72	11.52	16.30
90°	99.8 %	0.72	11.52	16.30

분포  $N(0, \sigma_{SF}^2)$ 을 따른다. CL은 클러스터 손실로 주변 건물과 지상의 물체에 의해 발생하는 감쇠를 의미한다.

자유 공간 경로 손실은 지상 단말과 위성 간의 거리와 중심 주파수로 계산되며 다음과 같다.

$$FSPL = 20\log_{10}(f_c [MHz]) + 20\log_{10}(d [m]) - 27.55, \quad (2)$$

$f_c$ 는 중심 주파수이며,  $d$ 는 지상 단말과 위성 간의 거리이다. 이는 그림 2와 같이 지구 곡률을 고려하여 다음과 같이 계산된다.

$$d = \sqrt{R_E^2 \sin^2 \alpha + h_0^2 + 2h_0 R_E - R_E \sin \alpha}, \quad (3)$$

$R_E$ 는 지구의 반지름,  $\alpha$ 는 위성의 고도각,  $h_0$ 는 위성의 고도다.

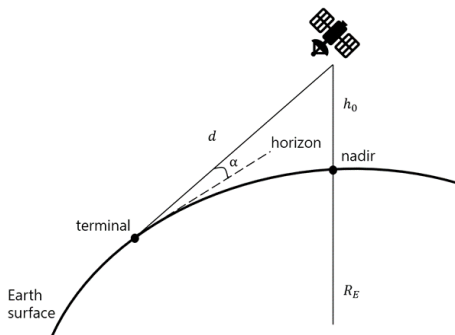


그림 2. 위성과 지상 단말 간 거리  
Fig. 2. Distance between terminal and satellite

Signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR)은 signal-to-noise ratio (SNR)과 signal-to-interference ratio (SIR)로 계산되며 다음과 같다<sup>[10]</sup>.

$$SINR = -10\log_{10}(10^{-0.1SNR} + 10^{-0.1SIR}), \quad (4)$$

SNR과 SIR은 다음과 같이 계산된다.

$$SNR [dB] = EIRP [dBW] - PL [dB] - k [dBW/K/Hz] + G/T [dB] - 10\log_{10}(BW [Hz]/K_{FR}), \quad (5)$$

$$SIR [dB] = EIRP [dBW] + G_{RX} [dB] - PL [dB] - 10\log_{10}\left(\sum_{i=1}^{N_{int}} 10^{0.1I_i [dB]}\right), \quad (6)$$

$$I_i [dB] = EIRP_i [dBW] + G_{RX} [dB] - PL [dB], \quad (7)$$

$EIRP$ 는 실효 등방성 복사 전력,  $k$ 는 볼츠만 상수,  $G/T$ 는 열잡음 대비 안테나 이득,  $BW$ 는 대역폭,  $K_{FR}$ 은 주파수 재사용 방식에 따른 대역폭 계수,  $G_{RX}$ 는 수신 안테나 이득,  $I_i$ 는 간섭신호의 세기다.

실효 등방성 복사 전력은 다음과 같이 계산된다.

$$EIRP [dBW] = EIRP_{den} [dBW/MHz] + RP_{sat}(\theta_{b,u}, a_{sat}, f_c) + 10\log_{10}\left(\frac{BW [MHz]}{K_{FR}}\right), \quad (8)$$

$EIRP_{den}$ 은 MHz 당 실효 등방성 복사 전력,  $\theta_{b,u}$ 는 빔의 boresight와 지상 단말이 이루는 각도,  $a_{sat}$ 은 위성의 aperture radius,  $RP_{sat}$ 은 정규화된 안테나 패턴이다.

안테나 패턴  $RP_{sat}$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{cases} 1 & \text{for } \theta = 0^\circ \\ 4 \left| \frac{J_1(k_w a_{sat} \sin \theta_{b,u})}{k_w a_{sat} \sin \theta_{b,u}} \right|^2 & \text{for } 0^\circ < |\theta| \leq 90^\circ, \end{cases} \quad (9)$$

$J_1$ 은 제 1종 1차 베셀 함수,  $k_w$ 는 파수로써  $2\pi f/c$ 로 계산되고  $c$ 는 진공에서의 빛의 속도를 의미한다.

### 2.2 TR 38.821 기반 시나리오

본 논문에서는 단일 위성 시나리오를 고려한다. 구현한 시뮬레이션은 TR 38.821의 SLS 환경을 기반으로 구현한다. 위성의 고도는 600 km이며 주파수의 대역은 S-band를 사용한다. 지상 단말의 유형은 handheld를 사용한다. 사용한 안테나 패턴은 식 (9)를 기반으로 그림 3의 패턴을 사용한다. 그 외의 파라미터는 표 2와 같다.

배치 시나리오는 교외 지역을 가정한다. 전파 환경은 맑은 하늘과 LoS 환경을 가정한다. 지상 단말의 환경은 100 % 외부 환경이다. 위성 빔의 주파수 재사용 계수는 option 1이며, 빔 하나는 하나의 셀 역할을 한다.

인접 빔 간 간격은 UV 평면에서 0.0668 간격으로 wrap-around 형식으로 배치한다. 위성은 그림 4와 같이 19개의 빔을 운용한다. 또한, 추가적인 2-tier 빔을 배치한다. 이는 단말이 위성의 가장자리 셀로 연결되어 있을 때, 간섭을 일으키는 인접 빔의

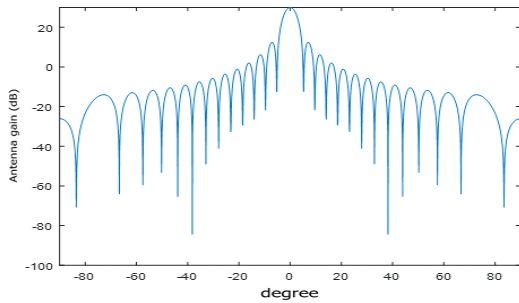


그림 3. 안테나 패턴  
Fig. 3. Antenna pattern

표 2. 저궤도 위성과 지상 단말 파라미터  
Table 2. Parameters of LEO satellite and UE

LEO satellite		UE (Handheld)	
Altitude	600 km	Altitude	0 km
EIRP density	34 dBW/MHz	Frequency band	S-band
Tx max gain	30 dBi	Tx ant. gain	0 dBi
HPBW	4.4127 deg	Ant. temperature	290 K
Cell diameter	50 km	Noise figure	7 dB
Aperture	2 m	Tx power	23 dBm
G/T	1.1 dB/K	G/T	-33.6 dB/K
Rx max gain	30 dBi	Rx ant. gain	0 dBi
Ant. pattern	Fig. 3	Ant. pattern	Omni

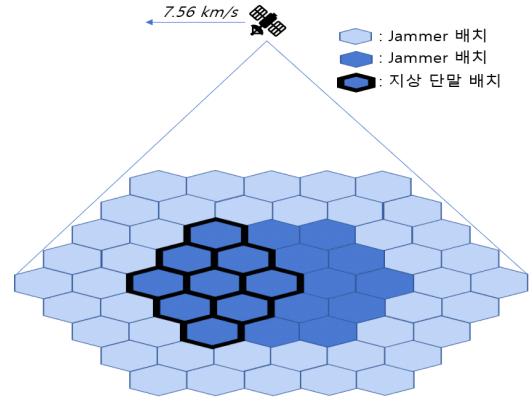


그림 4. 빔 배치도  
Fig. 4. Beam layout

수가 감소하고 SIR이 증가하는 현상을 배제하기 위함이다. 따라서 단말은 추가적으로 배치된 2-tier 빔으로 셀 선택을 통해 접속하거나 핸드오버되지 않는다.

본 논문에서 사용된 신호세기 기반 핸드오버는 그림 5와 같다. 지상 단말은 서빙 셀과 이웃 셀의 수신 신호세기를 측정하여 측정값들이 주어진 조건을 만족하게 되면 측정값을 보고하기 위해 대기한다. 이때, 주어진 조건은 A3 event이다. A3 event는 이웃 셀의 신호세기보다 서빙 셀의 신호세기가 오프셋만큼 작을 때 충족된다. 오프셋은 event triggering 조건 진입을 결정하는 파라미터다. 이후 A3 event의 조건이 time-to-trigger (TTT) 동안 지속되면 핸드오버를 하게 된다. TTT는 measurement report triggering을 위해 event에 대한 특정 기준을 충족해야 하는 시간이다.

본 논문에서 사용된 위치 기반 핸드오버는 그림 6과 같이 서빙 셀과의 중심점과 이웃 셀의 중심점 간 거리를 비교해 가까운 곳으로 핸드오버하는 방

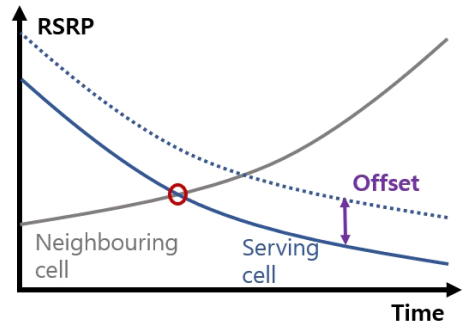


그림 5. 신호 세기 기반 event triggering  
Fig. 5. RSRP based event triggering

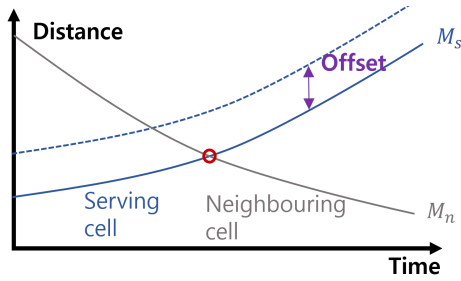


그림 6. 위치 기반 event triggering  
Fig. 6. Location-based event triggering

식을 택한다.

또한, 핸드오버의 시점에 따른 성능을 분석하기 위해 본 논문에서는 위치 기반의 핸드오버에 오프셋을 적용한다. 신호 세기 기반의 핸드오버와 위치 기반의 핸드오버의 시점을 동일시키기 위해 신호세기 단위인 오프셋을 거리 단위의 오프셋으로 변환한다. 저궤도 위성에서 비직상망 환경은 한 셀 안에서 거리에 의한 경로 손실이 적고, shadow fading의 평균값이 0이다. 따라서 경로 손실은 오직 안테나 이득에 따라 결정된다. 안테나 이득은 셀의 중심점과 위성 간의 거리와 단말과 위성 간의 거리 사이의 각도에 따라 정해지며 이를  $G_A(\theta)$ 로 표현한다. 해당 각도는 거리에 의해 결정되므로 이를  $f(d)$ 로 표현했을 때, 거리 단위의 오프셋은 다음과 같이 계산된다.

$$Offset \text{ in meter} = f^{-1}(G_A^{-1}(Offset \text{ in dB})). \quad (10)$$

$f^{-1}$ 과  $G_A^{-1}$ 는 각각 역함수를 의미한다. 또한, 위치 기반의 핸드오버 성능 분석을 위해 아래의 3가지 조건을 가정한다.

- 지상 단말은 모든 셀의 중심점 좌표 정보를 알고 있다.
- 위치 정보는 이전 측정값을 참고하지 않는다.
- 지상 단말은 신호 측정 주기마다 모든 셀의 중심점 좌표와의 거리를 계산한다.

### III. 성능분석

#### 3.1 성능 지표

본 논문에서는 SLS 환경의 study case 9 파라미터를 사용한다. 또한, TR 36.839 문서의 성능 지표를 사용하여 지상망과 함께 비직상망의 성능을 비교한다. 핸드오버 시점을 결정하는 오프셋, TTT,

L3 filter K의 값은 TR 36.839의 configuration set을 따른다<sup>[11]</sup>. L3 filter K 값은 서빙 셀과 이웃 셀 간의 reference signal received power (RSRP) 값을 비교할 때 이전에 측정된 서빙 셀의 값을 어느 정도 반영할지 결정하는 값이다. 위치 기반 핸드오버의 오프셋은 표 3의 각 set의 ‘offset in dB’ 값을 식 (10)을 통해 변환하여 표 4와 같이 사용한다. 또한 위치 기반 핸드오버는 이전 측정값을 참조하지 않으므로 L3 filter K 값은 0으로 설정한다.

핸드오버 실패율과 radio link failure (RLF)는 그림 7과 같이 2개의 point를 기준으로 3개의 state로 나눈다. State 1은 A3 event인 핸드오버 기준을 만족하기 전 상태, state 2는 핸드오버 기준을 만족한 후부터 서빙 셀이 핸드오버 명령 메시지를 수신하기 전 상태, state 3은 서빙 셀이 핸드오버 명령 메시지를 수신한 후부터 이웃 셀로 random access

표 3. Configuration set의 신호세기 기반 핸드오버 파라미터  
Table 3. RSRP-based handover parameter for configuration set

Profile	Set1	Set2	Set3	Set4	Set5
Cell Loading	100%	100%	100%	100%	100%
TTT [ms]	480	160	160	80	40
Offset in dB	3	3	2	1	-1
L3 filter K	4	4	1	1	0

표 4. Configuration set의 위치 기반 핸드오버 파라미터  
Table 4. Location based handover parameter for configuration set

Profile	Set1	Set2	Set3	Set4	Set5
Cell Loading	100%	100%	100%	100%	100%
TTT [ms]	480	160	160	80	40
Offset in meters	15,000	15,000	8,000	3,600	-3,000
L3 filter K	0	0	0	0	0

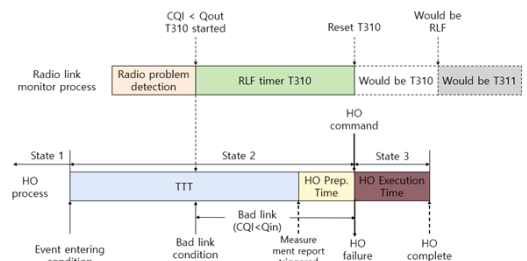


그림 7. State 정의  
Fig. 7. Definition of states

(RA) 과정을 마친 시점까지다. 핸드오버 실패율은 measurement report triggering이 발생한 시점부터 발생하며 핸드오버 시도 횟수 대비 실패 횟수의 비율로 계산된다.

RLF 이벤트 발생 횟수는 하나의 지상 단말이 초당 겪는 횟수로 계산되며 out-of sync 메시지가 N310 횟수만큼 발생한 후 T310 만료 이후에 선언된다. T310이 만료되기 이전에 in-sync 메시지가 N311 횟수만큼 발생하면 T310은 재설정되며 RLF는 선언되지 않는다. Out-of-sync 메시지는 SINR이 설정된  $Q_{out}$  값 미만일 때 발생하며, in-sync 메시지는  $Q_{in}$  이상일 때 발생한다<sup>12)</sup>.

Short ToS는 지상 단말이 한 셀에 머무는 시간 (ToS)이 minimum-ToS (MTS)보다 작을 때 발생한다. MTS는 단말에 안정적인 서비스가 지속되기 위해 필요한 셀에 연결되어 있는 최소 시간을 의미한다. 또한, 단말이 핸드오버한 뒤 다시 핸드오버 이전에 접속된 셀로 핸드오버되는 경우 핑퐁이 발생한다. Short ToS와 핑퐁은 각각 핸드오버 성공 횟수 대비 발생률로 계산한다. 본 논문에서는 MTS는 1초로 설정한다.

하향링크의 중단 시간은 서빙 셀이 지상 단말로 핸드오버 명령 메시지를 송신한 시점부터, 이웃 셀이 지상 단말로부터 핸드오버 완료 메시지를 수신할 때까지다. 이 시점에는 지상 단말이 핸드오버 시에 데이터를 수신하지 못한다. 핸드오버 지연은 서빙 셀이 핸드오버를 결정한 시점부터 지상 단말이 이웃 셀로 접속한 시점까지다. 각각의 평균 시간은 핸드오버 성공 횟수로 계산된다.

Hybrid automatic repeat and request (HARQ) 재전송 횟수와 radio link control (RLC) 최대 재전송 횟수는 각각 7회, 3회로 설정한다. RA 과정을

위한 파라미터는 preamble 메시지와 radio resource control (RRC) connection reconfiguration (Msg 3) 메시지의 최대 재전송 횟수는 4회, random access (RA) response timer는 5 subframes, contention resolution timer는 40 subframes로 설정하며 표 5와 같다.

### 3.2 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 사용된 핸드오버 파라미터인 configuration set은 set 번호가 커질수록 TTT, 오프셋, L3 filter K 값이 작아지기 때문에 이른 시점에 핸드오버를 진행한다. 지상망과 비지상망의 핸드오버 성능을 비교하기 위해 지상망의 핸드오버 성능을 분석한 TR 36.839 문서의 데이터를 사용한다. 해당 데이터는 지상망에서 지상 단말이 3 km/h, 30 km/h, 60 km/h, 120 km/h의 속도로 이동할 때 configuration set별 데이터다.

그림 8과 그림 9는 state 2, state 3에서의 핸드오버 실패율을 나타낸다. State 2에서 configuration set 1, 2에서의 핸드오버 실패율은 100 %에 가깝다. 해당 set은 오프셋이 3 dB로 설정되어 있으며, 3 dB beamwidth를 셀의 지름으로 갖는 저궤도 위성 기반 비지상망의 경우 3 dB의 오프셋은 이웃 셀의 중심점에 가까워진 후 서빙 셀과 핸드오버 메시지를 주고받는 상황이 발생한다. 이로 인해 핸드오버 실패율이 매우 높게 발생한다. 반면, 서빙 셀과 멀어지기 전에 핸드오버를 실행했을 때는 핸드오버 실패율이 낮다. Configuration set 5에서의 핸드오버 실패율은 TN의 지상 단말 속도 120 km/h의 성능에 비해 6 % 차이의 핸드오버 실패율을 보인다.

표 5. L2/L3 파라미터  
Table 5. Parameters of L2/L3

Parameters	Values	Parameters	Values
$Q_{out}$	-8 dB	Max HARQ re-Tx	7
$Q_{in}$	-6 dB	Max RLC re-Tx	3
T310	1 sec	Max Preamble/Msg 3 re-Tx	4
N310	1	RA response timer	5 subframes
N311	1	Contention resolution timer	40 subframes

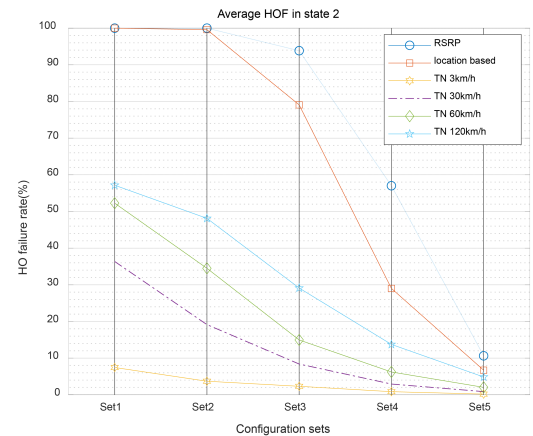


그림 8. State 2에서의 핸드오버 실패율  
Fig. 8. Average HOF in state 2

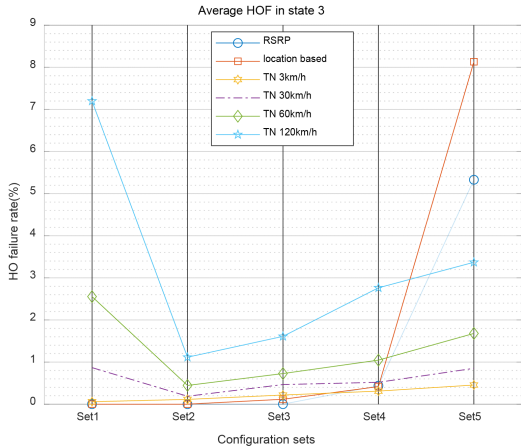


그림 9. State 3에서의 핸드오버 실패율  
Fig. 9. Average HOF in state 3

State 2와 state 3에서 핸드오버 실패율은 각각 서빙 셀에서 발생하는 실패율과 이웃 셀에서 발생하는 실패율을 나타낸다. 핸드오버 실패는 주로 state 2에서 서빙 셀의 핸드오버 명령 메시지를 수신하지 못해 발생한다.

그림 10과 그림 11은 state 1과 state 2에서 지상 단말 하나가 초 당 겪는 RLF 횟수다. State 1의 RLF는 핸드오버가 발생하기 전에 선언된다. 이는 이웃 셀에 RA를 통해 접속했을 때, 신호세기가 불안정하여 발생한다. 따라서 이웃 셀과 가까운 시점에 핸드오버되는 경우에 낮은 RLF 횟수가 발생하고 이른 시점에 핸드오버할 경우 횟수가 증가한다. State 2의 RLF는 핸드오버 발생 조건인 event triggering이 만족된 후 선언된다. 핸드오버 시점이 늦게 이루어질수록 핸드오버 명령 메시지를 수신하기 위한 신호세기가 감소하게 되고 이로 인해 횟수가 증가한다. 반면, state 2에서 발생하는 RLF는 state 1에 비해 매우 큰 값을 갖는다. 잘못된 이웃 셀을 선택하여 발생하는 RLF 횟수에 비해 서빙 셀에서의 낮은 신호세기로 인해 발생하는 RLF 횟수가 성능 저하의 큰 요인으로 작용함을 확인할 수 있다.

신호세기 기반의 핸드오버인 RSRP 기반의 핸드오버는 위치 기반의 핸드오버에 비해 낮은 성능을 보인다. Fading에 의해 무작위성을 갖는 RSRP 세기보다 위치 정보를 활용하여 셀 중심까지의 거리를 지표로 했을 때 정확한 성능을 보인다는 것을 확인할 수 있다.

저궤도 위성 기반 비지상망의 RLF의 전체 횟수

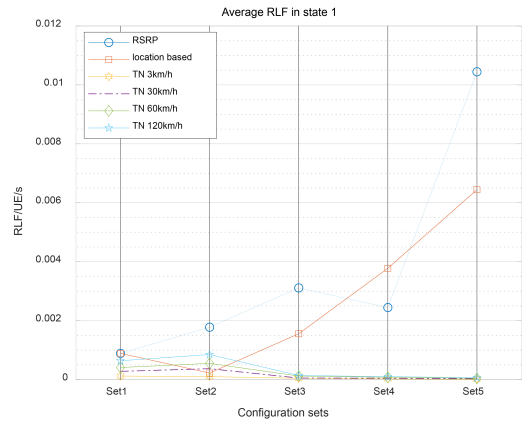


그림 10. State 1에서의 RLF  
Fig. 10. Average RLF in state 1

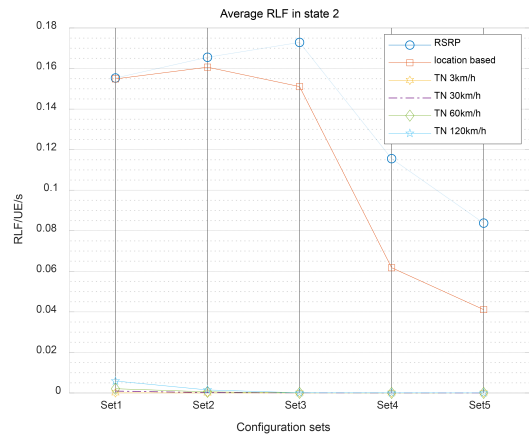


그림 11. State 2에서의 RLF  
Fig. 11. Average RLF in state 2

는 TN의 횟수에 비해 매우 많은 수가 발생한다. 이는 저궤도 위성의 빠른 이동성 때문에 한 셀에 머무는 시간이 적어 빈번한 핸드오버가 이루어지기 때문이다.

그림 12는 핑퐁 발생률과 short ToS 발생률을 나타낸다. Configuration set이 높아질수록 핸드오버 결정 지표를 관찰하는 TTT와 오프셋이 낮아진다. 이로 인해 잘못된 핸드오버가 발생할 확률이 높아지며 이전 셀로 다시 핸드오버가 이루어지거나 핸드오버된 후 이른 시점에 다시 핸드오버가 발생할 수 있다. 이로 인해 네트워크의 성능 저하가 발생하게 된다. TN의 경우 이를 피하기 위해 충분한 오프셋과 TTT를 설정한다. 반면, TN의 단말 속도에 따른 핑퐁 발생률에서 확인할 수 있듯이 단말이 빠르게 이동하는 경우 서빙 셀에서 빠르게 떨어지기 때

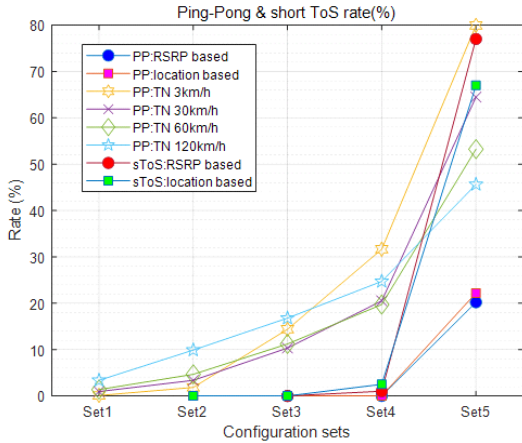


그림 12. Short ToS와 핑퐁 발생률  
Fig. 12. Short ToS and Ping-Pong rate

문에 핑퐁 발생률이 낮아진다. 저궤도 위성 기반 비지상망의 경우 위성의 속도가 7.56 km/s에 달하기 때문에 지상 단말과의 상대 속도가 매우 빠르다. 이로 인해 TN과 비교했을 때 매우 낮은 핑퐁 발생률을 보인다. 이와 반대로 short ToS의 경우 한 셀에 머무는 시간이 기본적으로 적기 때문에 configuration set이 높아질수록 서빙 셀에서 벗어나는 기준점이 낮아져 접속 시간이 짧아진다.

그림 13은 RLF가 발생한 후 호를 종료시키기 전 단말이 링크를 회복하기 위해 진행되는 RRC re-establishment (RRE) 성공률과 하향링크의 interruption 시간, 핸드오버 지연시간을 나타낸다.

RRE는 RLF가 셀 중심점과 가까운 위치에서 발생하여 좋은 신호세기를 가질 때 진행할수록 성공률이 높아지며 set level이 낮을수록 서빙 셀의 범위가 넓어지기 때문에 RRE 성공률이 낮아진다.

Configuration set 1, 2에서는 하향링크의 interruption 시간과 핸드오버 지연시간이 0을 보이는데 이는 앞서 핸드오버 실패율의 결과그래프에서 100%의 실패율을 보이기 때문에 데이터 수집이 불가능한 경우다.

하향링크의 중단 시간과 핸드오버 지연시간은 재전송 횟수에 따라 결정된다. 핸드오버가 낮은 신호세기에서 진행되거나 신호세기가 낮은 이웃 셀로의 핸드오버가 진행되게 되면, RA 과정과 핸드오버 명령 메시지 재전송 횟수가 증가하게 된다.

위치 기반의 핸드오버와 RSRP 기반의 핸드오버 성능을 비교했을 때, 위치 기반의 핸드오버가 높은 성능을 보인다. 재전송 횟수를 줄이기 위해서는 서

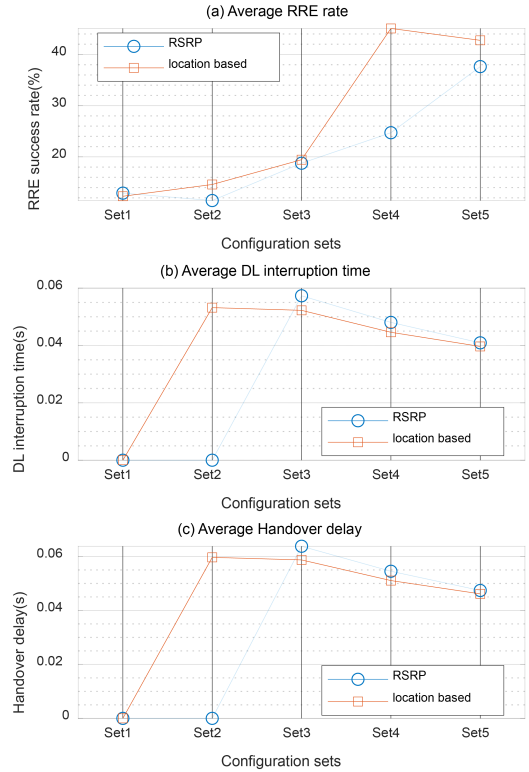


그림 13. (a) RRE 성공률, (b) 하향링크 중단 시간, (c) 핸드오버 지연률  
Fig. 13. (a) RRE rate, (b) DL interruption time, (c) Handover delay

빙 셀과 이웃 셀 모두 적절한 신호세기로 이루어지는 것이 중요하며 이러한 결정을 하는 event triggering의 지표는 무작위성이 없는 위치 정보가 유리하게 작용한다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 셀룰러 환경에서 저궤도 위성 기반 비지상망 환경을 구현하여 핸드오버 성능을 지상망과 비교 분석했다. 또한, 3GPP에서 논의 중인 위치기반 핸드오버를 구현하여 함께 비교 분석했다.

성능 분석 결과 TTT와 오프셋, L3 filter K 값에 따른 핸드오버 성능을 비교했을 때, 모든 성능이 이른 시점에 핸드오버하는 경우 높게 나타났다. 지상망과 달리 비지상망의 위성고도와 지상 단말의 상대 속도는 매우 빠르다. 이로 인해 이른 시점에 핸드오버할 때 trade-off 관계에 있는 핑퐁 발생률이 매우 낮기 때문에 저궤도 위성 기반의 비지상망의 경우 이른 시점에 이루어지는 핸드오버가 유리하게 작용



한다. 또한, 위치 기반의 핸드오버는 무작위성을 띄는 신호 세기 기반의 핸드오버에 비해 높은 성능을 보였다. 핸드오버 실패율 측면에서 저궤도 위성 기반 비직상망은 지상망의 핸드오버 성능에 비해 약 6 %의 성능으로 큰 차이를 보이지 않았지만, 빈번한 핸드오버 횟수로 인해 초당 겪는 RLF 횟수는 지상망 환경에 비해 매우 높게 나타났다. 이는 지상망에 비해 더욱 높은 핸드오버 성공률이 요구되며 핸드오버 시도 횟수를 줄이기 위한 새로운 시나리오에 대해 연구가 필요하다.

### References

[1] 3GPP TR 38.811 “Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks (NTN) (Rel. 15),” v.15.4.0, Sep. 2020.

[2] 3GPP TR 38.821 “Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN) (Rel. 16),” v.16.1.0, May 2021.

[3] P. S. kim, J. G. Ryu, and W. J. Byun, “Research trends in global wireless communication technology based on the LEO satellite communication network,” *ETRI Journal*, vol. 35, no. 5, pp. 83-91, Oct. 2020. (<https://doi.org/10.22648/ETRI.2020.J.350507>)

[4] Y. Li, et al., “Forecast based handover in an extensible multi-layer LEO mobile satellite system,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 42768-42783, Mar. 2020. (<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2977831>)

[5] C. Q. Dai, Y. Liu, S. Fu, J. Wu, and Q. Chen, “Dynamic handover in satellite-terrestrial integrated networks,” in *Proc. IEEE Globecom Wkshps*, pp. 1-6, Waikoloa, USA, Dec. 2019. (<https://doi.org/10.1109/GCWkshps45667.2019.9024370>)

[6] Y. Wu, G. Hu, F. Jin, and J. Zu, “A satellite handover strategy based on the potential game in LEO satellite networks,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 133,641-133,652, Sep. 2019. (<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2941217>)

[7] Z. Wu, F. Jin, J. Luo, Y. Fu, J. Shan, and G. Hu, “A graph-based satellite handover framework for LEO satellite communication networks,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 20, no.

8, pp. 1547-1550, Aug. 2016. (<https://doi.org/10.1109/LCOMM.2016.2569099>)

[8] J. S. Baik, J. W. Cho, and J. H. Kim “Analysis of signal level and quality for measurement report triggering in NTN steerable beam scenario,” in *Proc. JCCI 2021*, Park Hyatt, Seoul, Apr. 2021.

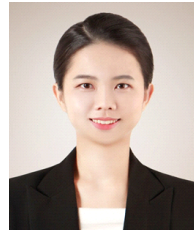
[9] 3GPP, *TSG-RAN WG2 Meeting #113 E*, e-meeting, 25 Jan.-5 Feb. 2021.

[10] 3GPP, *TSG-RAN WG1 Meeting #99*, 18-22 Nov. 2019.

[11] 3GPP TR 36.839 “Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); Mobility enhancements in heterogeneous networks (Rel. 11),” v.0.7.10, Aug. 2012.

[12] 3GPP TS 36.300 “Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); Overall description Stage 2 (Rel. 8),” v.8.6.0, Sep. 2008.

유 지 나 (Jina Yu)



2017년~2021년 : 아주대학교  
전자공학과 공학사  
2021년~현재 : 아주대학교 AI융  
합네트워크학과 석사과정  
<관심분야> 5G, 저궤도 위성  
통신 시스템, 핸드오버 등  
[ORCID:0000-0003-2048-384X]

백 종 수 (Jong Soo Baik)



2014년~2019년 : 아주대학교 전  
자공학과 공학사  
2020년~2021년 : 아주대학교 AI  
융합네트워크학과 공학석사  
2022년~현재 : 한화시스템 연구원  
<관심분야> 5G, B5G, 위성 시스  
템, 네트워크 설계 등  
[ORCID:0000-0002-3141-9168]

김 재 현 (Jae-Hyun Kim)



1987년~1996년 : 한양대학교 전

산과 학사 및 석/박사 졸업

1997년~1998년 : 미국 UCLA

전기전자과 박사 후 연수

1998년~2003년 : Bell Labs, NJ,

USA, 연구원

2003년~현재 : 아주대학교 전자

공학부 교수

<관심분야> QoE/QoS, 무선 MAC 프로토콜, IEEE

802.11/15, B5G 통신 시스템, 국방 기술네트워크,

위성시스템 등

[ORCID:0000-0003-4716-6916]